



## Mayın Algılama Robotu

*İbrahim Yıldırım, Uğur Yüzgeç, Metin Kesler*

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
11210, Gülümbe Yerleşkesi, Bilecik

i.yldrm33@gmail.com, ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr, metin.kesler@bilecik.edu.tr

### Özet

*Mayın ve toprak altına gömülmüş patlayıcı maddelerin tespitini yapmak amacıyla uzaktan bilgisayar kontrollü paletli tarzda bir robot tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında robotun kontrolü ve mayın tespitinde kullanılmak üzere bilgisayardan alınan veriyi robota göndermek, robota gönderilen veriyi almak, robotun hareket ve hız kontrolünü yapmak, mayını algılamak, robot üzerindeki kameradan görüntü almak, engellere olan mesafenin ölçümünü ve GPS bilgilerinin harita üzerinde gösterimini yapmak için gerekli devreler kurulmuştur. Robotun hareketlerini bilgisayar üzerinden yönlendirmek için bir yönetim ekranı paneli yazılmıştır. Sonuç olarak, tüm bu çalışmalar birleştirilerek robotun hareket, algılama, konum tespiti, robotun üzerindeki kamera ile kullanımı, basit anlamda otonom kontrol ve engel tanıma özellikleri çalışır hale getirilmiştir.*

### Abstract

*In order to make the detection of mines and explosives, remote computer controlled crawler-terrain robot has been made. To be used for robot control and mine detection, the necessary circuits have been designed and built for sending data which received from computer to the robot, getting data which transmitted to the robot, the robot's movement and speed control, mine detecting, capturing image from camera on the robot, measuring the distance and showing GPS data on the map. The management screen program has been written to control robot via the computer. Finally, the robot's movement, landmine detection, position detection, using robot with camera on its, basic autonomous control and obstacle detection features have been activated with combining all of these studies.*

### 1. Giriş

Dünya genelinde düşmanı caydırmak ve hareket kabiliyetini azaltmak amacıyla kullanılan kara mayınları gerek insan, gerek araçlara karşı ciddi bir tehdit ve tehlike oluşturmaktadırlar. Mayının aktif olabilmesi için uzaktan kontrol, zaman ayarı ve hedeften gelen etki yöntemleri kullanılmaktadır. Savaş esnasında ya da terör eyleminden dolayı döşenen mayınlar günümüzde hala etkisini sürdürmekte ve bölgedeki sivil ve askeri personel için tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdit, mayının tespit edilip ardından imha edilmediği sürece devam edecektir.

Mayın imha edilmesi profesyonel kişilerce yapılmaktadır. Mayın imha işlemi gerçekleştirilmeden önce mayın tespiti yapılmalıdır. Mayın imhasından önce mayın ya da mayınların tespitinin yapılması da en az imhası kadar önemlidir. Çünkü mayın imha edilirken çevresinde bulunacak diğer mayınlar personele zarar verebilir veya personelin çevresinde mayın olup olmadığını bilmemesi personeli tedirgin ederek yanlış kararlar vermesine neden olabilir. Bunun yanı sıra mayın tespitinin manuel olarak personel aracılığıyla yapılması personelin can güvenliğini tehlikeye atmaktadır.

Bu çalışmada amaç, mayın imhasındaki önemli adımlardan biri olan mayın veya mayınların tespitinin, personelin can güvenliğinin tehlikeye atılmadan, bilgisayar ile uzaktan alan taraması mantığıyla yapılmasıdır.

Mayınlar genel olarak Anti-Personel(AP) ve Anti-Tank(AT) olarak iki çeşitten oluşmaktadır. Anti-Personel mayınları daha düşük basınçlara duyarlıdır ve yayalara yöneliktir. AP mayınları genellikle disk şeklinde ya da silindir biçiminde olup; çapları 20 ile 125 mm ve yükseklikleri 50 ile 100 mm arasında değişir. Ağırlıkları 30 g civarında olan AP mayınlarında TNT, Tetryl ve Comp B gibi farklı patlayıcı maddeler kullanılabilir [1].

Anti-Tank mayınları ise daha büyük basınçlara duyarlıdır ve araçlara yöneliktir. AT mayınları genelde yassı silindirik şekilli ya da yuvarlak köşeli dörtgenler şeklinde üretilmektedir. Çapları 150 ile 300 mm, kalınlıkları ise 50 ile 90 mm arasında değişmektedir. Patlayıcı içeriği genellikle TNT, Comp B ya da RDZ gibi maddelerdir. AT mayınları genellikle savaş ekipmanı olarak değerlendirilmekte ve savaş alanlarında gizlenmektedir [1].

Savaş halinde ya da terör eylemi olarak döşenen mayınlar üzerinden yıllar geçmesine rağmen özelliğini kaybetmemekte ve hedeflediği insan ya da aracın kendisine rast gelmesi durumunda aktif olarak patlamaktadır. Bu patlamanın etkisine maruz kalan insanlar sakat kalmakta veya ölmektedirler.

Savaş sonrasında ya da terör eylemini etkisiz hale getirmek amacıyla mayınların imhaları söz konusu olmuştur. Maliyeti ve döşenmesi çok ucuz olan bu patlayıcıların etkisi ve imhası oldukça pahalıya mal olmaktadır. Ayrıca bu mayınların bulunması sırasında mayını arayan personel büyük bir tehlike altındadır. Mayın tespitinde birçok yöntem kullanılmakla

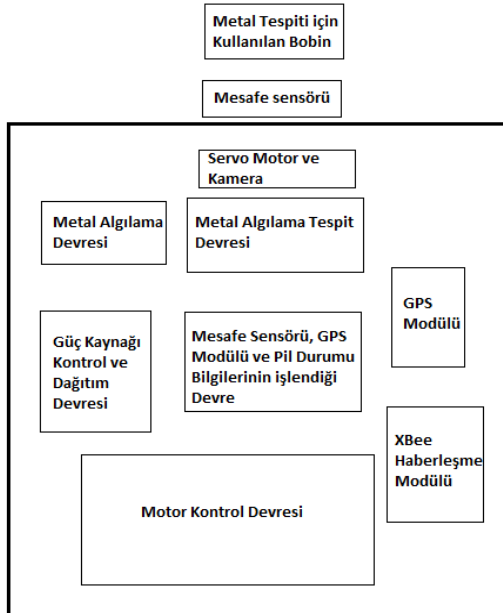
birlikte personel can güvenliğinin sağlandığı yöntemler teknolojinin gelişimiyle paralel olarak ön plana çıkmıştır [5-7]. Mayın algılama konusunda kullanılan yöntemler şu şekilde sıralanabilir [2]:

1. Akustik/Sismik Yöntem
2. Yer Etkili Radar (GPR-Ground Penetrating Radar)
3. Elektromanyetik İndüksiyon Spektroskopisi
4. Kızıl Ötesi Görüntüleme
5. Çekirdek Dört-kutup Rezonansı (NQR)
6. Isıl nötron aktivasyonu (Thermal Neutron Activation – TNA)
7. Nötron geri saçılımı
8. X-ışını geri saçılımı
9. Manyetik Anomali Yöntemi (MAD)

Bu çalışmada mayın tespiti ile ilgili yapılan araştırmalar ve sahip olunan kaynaklar neticesinde, Manyetik Alan Temelli Metal Tespiti yöntemi kullanılmıştır.

## 2. Robotun Donanımı

Robotun gövdesi 25x19 cm ebatında prototip olarak tasarlanmıştır. Robot üzerine yerleştirilen devreler, piller vb. donanımlar neticesinde ağırlık artışı söz konusu olmaktadır. Ağırlık artışının sorun olmaması için torku ve çalışma gerilimi yüksek motorlar robotun hareketi için tercih edilmiştir. Robotun paletli olmasından dolayı aynı özellikli iki adet redüktörlü motor kullanılmıştır. Bu motorlar ve bağlı oldukları tekerler birbirlerinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bu sayede robota bağlı bulunan palet sistemi birbirinden etkilenmeden sağa – sola dönüşler yapabilmektedir. Robot üzerindeki devrelerin birbirlerinden etkilenmemesi ve herhangi birisinde değişiklik yapıldığında diğer devreleri tekrar oluşturmamak için devreler modüler yapıda tasarlanmıştır [4]. Şekil 1’de robot üzerinde kullanılan modüller gösterilmiştir.



Şekil 1: Robot üzerindeki modüller.

### 2.1. Mesafe Sensörü ve GPS Modülü

Robot devresinde mikrodenetleyici olarak PIC18F4550 kullanılmıştır. Mikrodenetleyici yardımıyla alınan GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi), modülünün ve ultrasonik sensörlerin verileri işlenerek anlamlı hale getirilmektedir. Daha sonra bu veriler, mikrodenetleyici tarafından XBee RF modülü ile bilgisayar üzerindeki yönetim arayüzüne iletilmektedir. Gelen sensör verilerine göre engel algılandığında robot hareketi durdurulmakta ve ileri yöne gitmesi engellenmektedir. Yaklaşım uyarıları yönetim ekranında görsel olarak gösterilerek kullanıcı uyarılmıştır [4].

GPS verilerinin yönetim ekranında gerekli düzenlemeler yapılarak harita üzerinde gösterimi gerçekleştirilmiş ve harita üzerinde hedef belirtilerek robotun karmaşık olmayan hedeflere otonom olarak ulaşması sağlanmıştır. Şekil 2’de robot için kullanılan GPS ve mesafe modülleri gösterilmiştir.



Şekil 2: Robot üzerindeki GPS ve mesafe modülleri.

Robotun güç kaynağı olarak kullanılan pil yaklaşık 12 Volt’luk bir gerilime sahiptir. Seçilen mikrodenetleyici 5V besleme ile çalıştığından, bu gerilim değerinin 5 Volt’a düşürülmesi gerekmektedir. Gerekli hesaplamalar yapılarak gerilim bölücü devre dirençler vasıtasıyla oluşturularak mikrodenetleyicinin ADC özelliği bulunan bir pinine bağlanmış ve mikrodenetleyici içerisindeki gömülü kod ile gerilim değeri sayısal bir değere çevrilmiştir. XBee modülü aracılığıyla bu sayısal veri yönetim ekranına gönderilerek, görsel ortamda pilin durumunun izlenmesi sağlanmıştır [4].

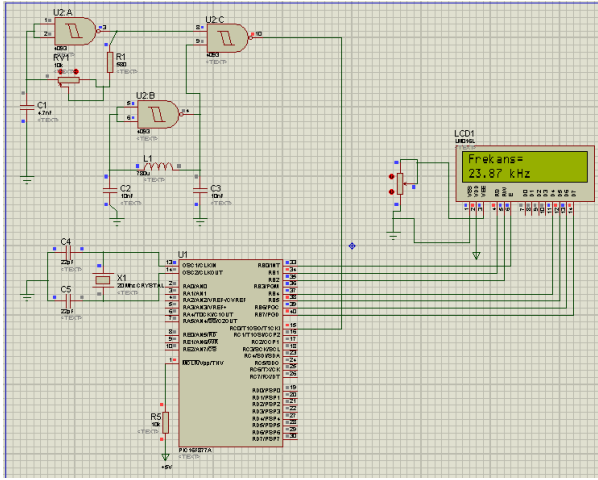
### 2.2. Motor Kontrol Devresi

Kontrol devresinde mikrodenetleyici olarak PIC16F877A kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin yapısında bulunan PWM modülü ile CCP1 ve CCP2 pinleri kullanılarak oluşturulan PWM sinyalleri motor sürücü entegresine gönderilmektedir. Motor sürücü entegresi kendisine gelen komuta göre motor bağlantı pinlerinden çıkış vererek ilgili motorları sürmektedir. Böylece devre yazılımsal komutlarla birleşerek tamamlanmakta ve robot istenildiği gibi hareketini gerçekleştirmektedir. Ayrıca robot üzerindeki kameranın sağa ve sola hareketinin sağlanması amacıyla bir servo motor da bulunmaktadır. Bu servo motor genelde olduğu gibi 3 pinli bir yapıya sahiptir. 2 adet pini +5 volt ve GND bağlantısına, 1

pini ise motorun dönüş yönünü ayarlamak için mikrodenetleyiciye bağlanmaktadır. Servo motorun çalışırken çekeceği akımın mikrodenetleyiciyi etkilememesi için servo motor ayrı bir regüle devresinden beslenmektedir [4].

### 2.3. Mayın Algılama Modülü

Mayın algılama modülü 2 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım mayının metal olma özelliğini kullanarak metal dedektör devresi ile tespit edilmesini sağlamaktadır. İkinci kısım ise metal dedektör devresinden frekans değişimlerini tespit eden ve mayın olup olmadığına mantıksal olarak karar veren kısımdır. Şekil 3'de mayın algılama modülü için tasarlanan devreye ait benzetim görülmektedir.



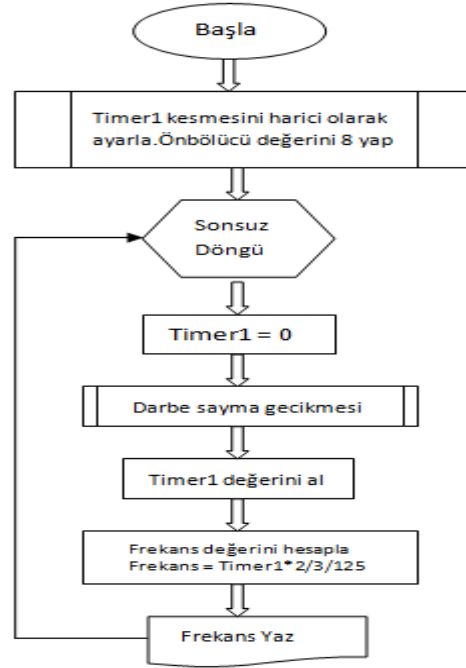
Şekil 3: Mayın algılama modülü devresi.

Devrede toplam 3 adet NAND kapısı bulunmaktadır ve R1, RV1, C1 ve U2:A elemanlarıyla ayarlanabilir ve daha sonra sabit kalacak frekans elde edilmektedir. U2:B, C2, C4 ve L1 elemanları ile de değişken frekanslı algılama kısmı elde edilmektedir. Bu iki lojik kapıdan çıkan işaret U2:C kapısına girerek işleme tabi tutulmaktadır. Buradan çıkan f1+f2 veya f1-f2 sonucu mikrodenetleyicide yazılımsal olarak, girilen sayısal verideki değişikliğe göre metal maddenin algılanıp algılanmadığına karar vermektedir [3].

Eşitlik 1'e göre artan indüktans değeri U2:B kapısından çıkan frekans değerini düşürmektedir. Bu değişim U2:C kapısından okunan frekans değerinde sürekli ve büyük değişimlere sebep olmaktadır. Bu büyük frekans değişiklikleri mikrodenetleyici tarafından algılanmakta ve metal cisme yaklaşıldığı fark edilmektedir.

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}}} \quad (1)$$

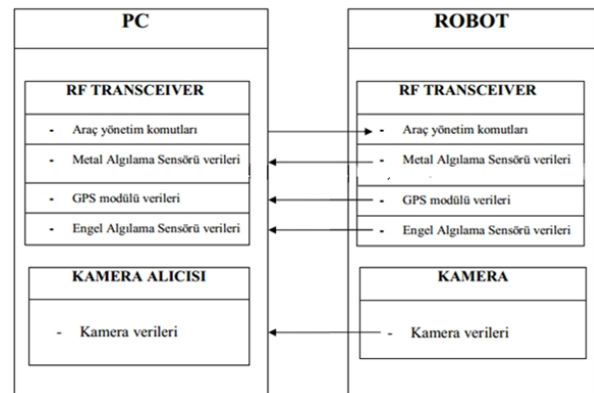
Devre frekans ürettiği için çok hassas bir yapıya sahiptir. Diğer devrelerdeki harcanan güçte oluşacak bir değişiklikte bu devre etkilenmektedir. Bu nedenle metal dedektör devresi ayrı bir güç kaynağı ile beslenmektedir. Bu frekans değişimi mikrodenetleyicinin Timer1 modülünün harici osilatör girişine uygulanarak tespit edilmektedir. Mayın algılama devresinde mikrodenetleyici olarak PIC16F877A kullanılmıştır [4]. Şekil 4'de mayın algılama devresi için yazılan frekans okuma koduna ait akış diyagramı gösterilmiştir.



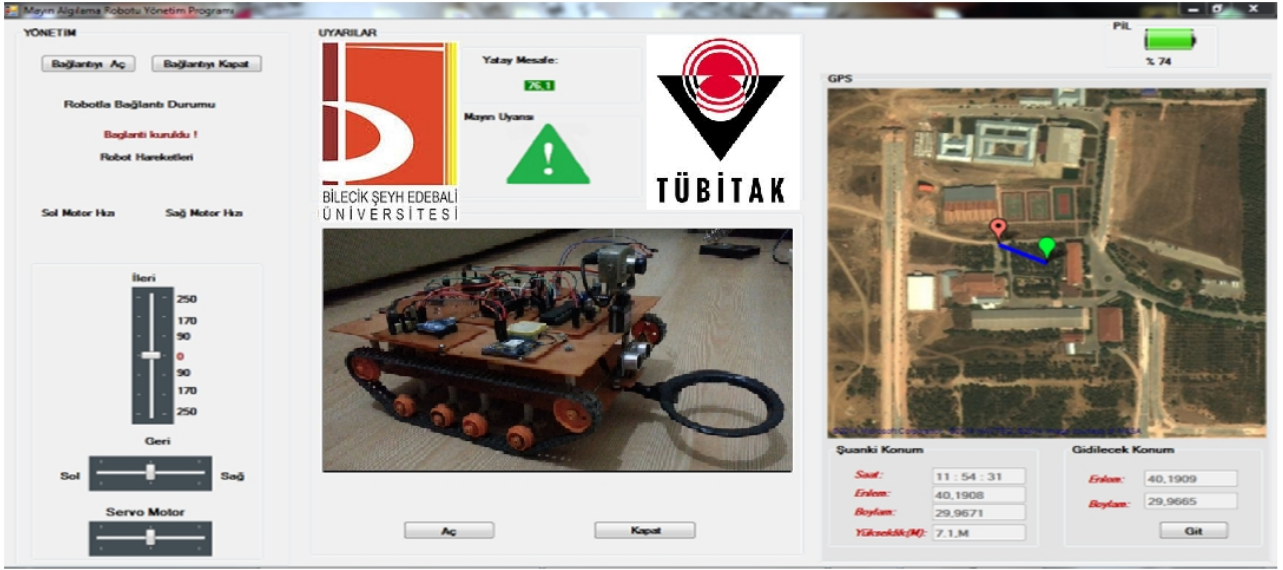
Şekil 4: Frekans okuma akış diyagramı.

### 2.4. Haberleşme Modülü

Mayın algılama robotundan gelen verilerin yönetim ekranına iletilmesi ve robot yönetim komutlarının robota ulaştırılması için tasarlanan haberleşme modül yapısı Şekil 5'de gösterilmiştir. Robot üzerindeki metal algılama devresinden, GPS modülünden ve mesafe sensöründen gelen verilerin bilgisayara iletilmesi için haberleşmenin çift taraflı yapılması gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada çift taraflı haberleşme özelliğine sahip 2 adet XBee S1 RF modülü kullanılmıştır. RF Alıcı/Verici modülü bilgisayara USB bağlantısı ile bağlanmaktadır. USB bağlantısı yüksek frekansta çalışmaktadır. Bu nedenle devre üzerinde mikrodenetleyici olarak USB bağlantısına sahip PIC18F4550 kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici aynı zamanda PLL (Phase-Locked Loop) özelliğine sahiptir. PLL özelliği düşük frekans sağlayan osilatör devresinden gelen frekansı USB bağlantısına uygun olacak şekilde artırmaktadır [4].



Şekil 5: Mayın Algılama Robotu Haberleşme Blok Diyagramı.



Şekil 6: Mayın Algılama Robotu Yönetim ekranı.

### 3. Yönetim Ekranı

Mayın Algılama Robotu yönetim programı C# programlama dili ile yazılmıştır. Yönetim programının arayüz görünümü Şekil 6'da görüldüğü gibi tasarlanmıştır.

Yönetim arayüzünde görüldüğü gibi iki adet bağlantı butonu bulunmaktadır. Bu butonlar arayüz ile verici devresi arasındaki bağlantıyı açmak ve kapatmak için kullanılmaktadır. Bağlantının olup olmadığı 'Robot Bağlantı Durumu' başlığı altında belirtilmektedir. Ayrıca 'Robot Hareketleri' başlığı altında robotun hareketi ile ilgili (ileri - geri - sağ- sol -ileri, sol ...) bilgiler veriler robotun ne yaptığı belirtilmektedir. 'Sol Motor Hızı' ve 'Sağ Motor Hızı' başlıkları altında ise robot hareketlerini yaparken motorlara gönderilen PWM kontrolleri yazılmaktadır. Bu PWM kontrolü verileri robotun kendi hız birimi olarak kullanılmaktadır [4].

Arayüzün bir diğer elemanları olan iki adet TrackBar ise "W= İleri" , "S= Geri", "A=Sol", "D=Sağ" ve "E= Vites" klavye tuşları ile hareket ettirilmektedir. Diğer bir önemli konu ise sadece ileri yada geri tuşlarına basıldığında hız verisi gönderilecek ve hız artırımı için ileri yada geri tuşuna basılı tutularak vites tuşuna basılacaktır. Böylece hız bir sonraki kademedeki hıza yükselecektir. İleri veya geri tuşuna basılmadığı ya da basıp ardından çekildiği zaman fren yapılmaktadır. Bu şekilde Robotun durması sağlanmaktadır.

Üçüncü TrackBar ise kamerayı sağa sola hareket ettirecek servo motor için kullanılmaktadır. Servo motor sol yön tuşu ile sola, sağ yön tuşu ile sağa dönmekte ve geri tuşu ile de ortalanmaktadır.

#### 3.1. Göstergeler

Yönetim ekranındaki bir diğer özellik ise Mayın algılama göstergesi, yatay mesafe göstergesi ve pil durum göstergesidir. Robot üzerindeki mesafe sensöründen, mayın algılama modülünden ve pilden alınan veriler bilgisayara RF modüller ile gönderilmektedir. Gelen bilgiler işlenerek mesafe kritik uzaklığı aşmışsa, mayın algılanmışsa ve pil durumu kritik

seviye gelmişse, kullanıcı görsel olarak bu göstergeler ile uyarılmaktadır.

#### 3.2. Video Görüntüsü

Mayın algılama robotun üzerinde alıcı vericisi RF modüllerden bağımsız olan CCTV türü bir kamera bulunmaktadır. Kameradan gelen veriler EasyCap kartı ile bilgisayara USB ile alınmaktadır. Bağlanan kamera herhangi bir webcam gibi sistemde görülmektedir. Kamera kısmında iki adet buton bulunmaktadır. Bu butonlardan soldaki kamera görüntüsünü açmakta, diğeri ise kapamaktadır.

#### 3.3. Konum Bilgilerinin Harita Üzerinde Gösterimi

Robot üzerinde bulunan GPS modülünden gelen veriler gerekli işlemler yapılarak belirli formatlara getirilmektedir. GPS modülüne güç verildiği zaman modül konum, saat vb. bilgileri TX pininden göndermektedir.

Bu bilgiler;

```
$GPRMC .....
$GPGGA .....
$GPGSV .....
$GPGSA .....
```

sözcükleri ile başlayan cümleler halindedir. Bu cümleler 1 sn aralıklarla toplu olarak gönderilir. Bu çalışmada lazım olan cümle \$GPGGA ile başlayan cümledir ve örnek olarak şu şekildedir:

```
$GPGGA,053740.000,2503.6319,N,12136.0099,E,1,08,1.1,63.8,M,15.2,M,,0000*64
```

Toplu olarak gönderilen bu cümlelerden \$GPGGA ile başlayan cümle mikrodenetleyici içerisindeki kontrol deyimleriyle alınmaktadır. Kontrol deyimleri \$GPGGA ifadesinin yakalanmasını ve daha sonra bu ifadenin devamında gelecek olan verilerin alınmasını sağlayacak bir algoritmayla oluşturulmuştur. Bilgi kaybı olmaması için mikrodenetleyici içerisinde UART haberleşme protokolüne ait kesme kullanılmıştır. Alınan veriler XBee modülü ile yönetim ekranına gönderilmektedir. Burada gerekli çevirme işlemleri

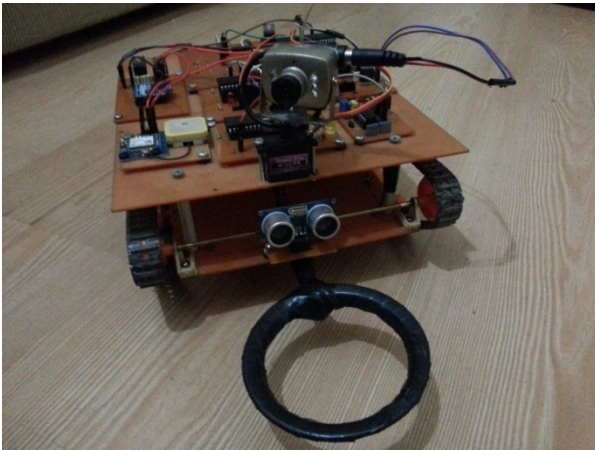
yapılmaktadır. Yönetim arayüzüne konulan bir harita ile yer tespiti yapılmaktadır. Yönetim ekranından da görüleceği gibi harita üzerinde kırmızı ve yeşil olmak üzere iki adet yer gösterici bulunmaktadır. Bu yer göstericilerden yeşil olan robotun bulunduğu konumu, kırmızı olan ise hedef konumu göstermektedir. Konumlar ile ilgili bilgiler yazılı olarak haritanın altında gösterilmektedir [4].

Hedef konumun yazılı olarak gösterildiği “Gidilecek Konum” bölümünde bir adet buton bulunmaktadır. Bu buton robotun hedef konuma gitmesinin başlangıç komutunu vermektedir. Yapılan çalışmalarda otomatik olarak hedefe ulaşılmasında kısmen başarı sağlanmıştır. Robotun bulunduğu konuma göre karmaşık olmayan bir hedefe kendiliğinden gitmektedir.

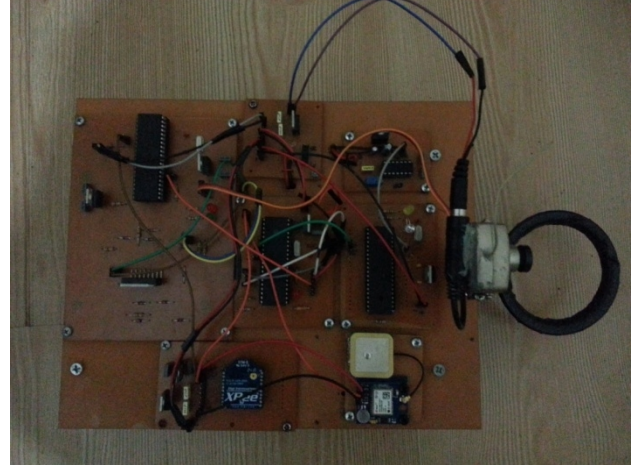
#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Mayın algılama robotunun hareketi bilgisayar üzerindeki yönetim ekranından gerçekleştirilmektedir. Yönetim ekranından gönderilen komutlar robota ulaşmakta hız ve yön tayini yapılarak robot hareket etmektedir. Robot üzerindeki mesafe sensörü ve GPS modülünden alınan veriler yönetim ekranına RF modül yardımı ile gönderilerek bu ekranda uzaklık ve GPS bilgileri gösterilmiştir. Ayrıca GPS verileri ile konum bilgisi bir harita üzerinde gösterilmiştir. Yine harita üzerindeki işaretlenen hedef konumuna robotun gitmesi sağlanmıştır.

Mayın algılama devresinden gelen uyarı, yönetim ekranında ve robot üzerinde görsel olarak gösterilmiştir. Mayın algılama için kullanılacak metal dedektör devresi frekanslar ile çalıştığı için dış etmenlerden kolay etkilenmektedirler. Bu sebeple bu devrenin dış dünyadan mümkün olduğunca yalıtılması, ayrı bir güç kaynağı kullanılması gerekmektedir. Metal devresine bağlı bobininde aynı şekilde yalıtılması ve oluşturulurken bozulmayacak bir şekilde sarılması gerekmektedir. Çalışmanın bitirilmiş haline ait fotoğraflar Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmektedir. Mayın algılanması ile ilgili olarak çoğunlukla metal dedektörler kullanılmaktadır. Fakat mayınların plastik, ahşap vb. gibi metal olmayan malzemelerden yapılması metal dedektörlerini işlemez hale getirmektedir.



Şekil 7: Mayın algılama robotunun önden görünümü.



Şekil 8: Mayın algılama robotunun üstten görünümü.

Bu sorunla ilgili olarak bu projede Termal Nötron Aktivasyonu uygulanmak istenmiştir ve bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Termal Nötron Aktivasyonu yönetimin uygulanması için daha fazla maliyet ve büyük araç-gereçler gerektiği için bu yöntemden vazgeçilmiştir. Fakat mayın tespiti gibi hassas bir konuda iki yöntemli karar yapısı yanlış mayın algılama uyarılarını azaltarak daha kesin sonuçlar elde edilmesinin sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt içi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Kalender, O., "Geçmişten Günümüze Mayın Belirleme Çalışmaları ve Manyetik Anomali Yöntemi ile Kara Mayınlarının Belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, Cilt:11 Sayı: 1 s.1-8, 2008
- [2] Şensoy, M.G., "Manyetik Karakteristikteki Malzemelerin Manyetik Alanda Oluşturdukları Anomali İle Belirlenmesi Ve Oluşan Anomaliye Göre Manyetik Malzemenin Karakterizasyonu", Balıkesir, Temmuz – 2010
- [3] Erol, Y. , 2006, Metal Dedektörü, *Bilim ve Teknik*, 88 – 89.
- [4] Yıldırım, İ., 2014, Mayın Algılama Robotu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bitirme Tezi, Bilecik.
- [5] Mian, A., Han, X.Y., Islam, S., et al., "Fatigue damage detection in graphite/epoxy composites using sonic infrared imaging technique", *Composites Science And Technology*, Volume: 64, Issue: 5, (2004), 657.
- [6] Vanier PE, Forman L, Hunter SJ, Harris EJ, Smith GC, "Thermal neutron backscatter imaging", *2004 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*, Vol:1-7, (2004), 201.
- [7] Bamberger, J.A., Craig, R.A., Colgan, T.Y., Peurrung, A.J., Schmitt, B.E., Stromswold, D.C., "Timed-Neutron Detection For Land Mines", *Nuclear Science Symposiums*, Vol: 2, (2003), 1336.